TRABAJO DE FIN DE GRADO

EFECTIVIDAD DE UN PROGRAMA DE MOVILIDAD Y FORTALECIMIENTO DEL HOMBRO EN JUGADORES DE WATERPOLO

THE EFFECTIVENESS OF A SHOULDER MOBILITY AND STRENGTH PROGRAMS IN COMPETITIVE WATER-POLO PLAYERS

AUTOR

Jaime Cantonero Ibáñez

TUTOR

Isaac López Laval

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL DEPORTE

CURSO 2021/2022

ÍNDICE

1. **Resumen**…….3
2. **Introducción**……..4
3. **Materiales y métodos**……...11
   - **3.1. Test de fuerza máxima isométrica**……...……..11
   - **3.2. Test de movilidad articular**……11
   - **3.3. Protocolo de fortalecimiento del hombro**…….....12
   - **3.4. Análisis estadístico**……....15
4. **Resultados**…….....20
5. **Discusión**…….22
6. **Conclusiones**……...27
7. **Bibliografía**…….....28
8. **Anexos**……...…....35

1. Resumen

Introducción: El waterpolo es el deporte acuático con mayor incidencia lesiva, donde el dolor de hombro es considerado la lesión más común. Comprender los factores de riesgo y conseguir la orientación de las medidas preventivas es fundamental en esta disciplina deportiva. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de un plan de entrenamiento específico de 6 semanas de duración sobre el rango de movimiento (ROM) y en sus niveles de fuerza articular en un grupo de waterpolistas profesionales. Métodos: Estudio quasi-experimental con una muestra de 31 sujetos que participaron de manera voluntaria. Se establecieron 3 grupos de estudio, un grupo control y dos experimentales, y se realizaron dos medidas repetidas, pre y post intervención en las que se analizó tanto el ROM de la articulación glenohumeral tanto en rotación externa (ER) como en interna (IR) y la fuerza máxima isométrica. Conclusiones: La aplicación de un programa de entrenamiento preventivo provoca mejoras del ROM de la articulación glenohumeral y, además, los propios efectos en relación en relación a ER e IR tienen una relación directa con la propia biomecánica del deporte. No se observaron mejoras ni en la variable fuerza ni en las posibles asimetrías contralaterales.

2. Introducción

Los deportes acuáticos se caracterizan al igual que cualquier deporte que se practique de forma profesional y semi-profesional por una gran inversión de horas de preparación para optimizar el rendimiento deportivo. En consecuencia, los planes de entrenamiento a corto, medio o largo plazo, para mejorar las capacidades fisiológicas, biomecánicas o estratégicas de los deportistas, conllevarán períodos de práctica a altas intensidades (Pyne & Sharp, 2014) que, en algunos casos, pueden aumentar el riesgo de lesión y poniendo en peligro el desarrollo y mejora del rendimiento del deportista (Pyne, Verhagen, & Mountjoy, 2014). En el caso de los deportes acuáticos, siguiendo a Kim & Park (2020) las principales lesiones son de tipo músculo-tendinosas (44,7% de las lesiones) seguidas de ligamentos y capsulas articulares (33,4%), produciéndose la mayor parte de estas en las extremidades superiores respecto a las inferiores y el tronco (35,9%, 31% y 24,5 % del total de las lesiones, respectivamente) (Kim & Park, 2020). Por otra parte, la causa de las lesiones variará entre los diferentes deportes, siendo la principal causa la realización crónica de algunos movimientos específicos de los deportes, como las brazadas en los nadadores o los lanzamientos en los waterpolistas, que tras la práctica de estos durante muchos años desgastan los complejos musculares y articulares, provocando lesiones. No obstante, y pese a tener puntos en común, las características de cada uno de estos deportes los hacen únicos y especiales, pudiendo generar diferentes lesiones en función de los requerimientos musculares de cada uno de ellos.

En relación al waterpolo, las lesiones son un factor importante y a tener en cuenta en el seguimiento de las temporadas de los equipos. Prien et al. (2017) analizaron las lesiones producidas en las 4 semanas previas al Campeonato del Mundo de 2015, además de las que se produjeron durante el evento, mostrando que un 19,9% de los

waterpolistas sufrieron algún tipo de daño o lesión, y que un 10,1% de ellos sufrieron pérdidas de tiempo de entrenamiento y cambios en su planificación debido a estas. Por otra parte, destacaron que la mayor parte de las lesiones (77,4%) se produjeron en el transcurso de los partidos. Son varios los estudios previos que han determinado algunas de las posibles causas de lesión, además del tipo y los lugares donde son localizadas (Brooks, 1999; Croteau, Brown, Pearsall, & Robbins, 2021; Webster, Morris, & Galna, 2009). Siguiendo a Stromberg (2017) las dos principales causas de lesión en el waterpolo son las producidas de manera crónica, por un uso continuado de acciones como el nado o los lanzamientos, así como las producidas de forma traumática, mediante golpes o forcejeos. Además, según Croteau et al. (2021), podría aumentar el riesgo de lesión algunos factores como el volumen de entrenamiento y los lanzamientos realizados por sesión; la movilidad de las diferentes articulaciones y su grado de asimetría o la técnica en algunas acciones como el lanzamiento. En cuanto a la localización de las lesiones Kim & Park (2020), realizan un análisis de las regiones corporales donde más lesiones se producen a lo largo de 8 años en el equipo nacional surcoreano, obteniendo que el 48% de las lesiones se producen en las extremidades superiores; un 21,8% en el tronco; un 20,8% en las extremidades inferiores; y un 9,4% en la cabeza y el cuello. De estos cuatro segmentos corporales, podemos extraer articulaciones y zonas más específicas, de las cuáles llama la atención que, sobre el total de lesiones producidas, un 25,2% sean tan sólo en los hombros, un 14,4% en la región lumbosacra y un 10,9% en los codos. Además, Kim & Park (2020) en su estudió, también analizan el tipo de lesión producida. Los resultados mostraron una gran variabilidad en el tipo de lesión, siendo las más reseñables los esguinces articulares (desgarros en los ligamentos o episodios de

inestabilidad aguda) en un 31,2% de las ocasiones; lesiones musculares como microrroturas, en un 28,2%; y tendinopatías en un 14,4%.

En el deporte, la flexibilidad es definida como la habilidad intrínseca que tienen las fibras musculares de alcanzar el máximo rango de movimiento (ROM) sin caer en una lesión (Cejudo, de Baranda, Ayala, Croix, & Santonja-Medina, 2020). El rango de movimiento es medido en grados (º) y representa la cantidad de movimiento que se produce en un determinado punto o articulación al realizar un movimiento (Pallarés et al., 2021). Un ROM limitado es considerado como un importante factor de riesgo para las lesiones más habituales en todos los deportes (Cejudo et al., 2020). Una explicación posible de la relación de un ROM limitado con el riesgo de producirse lesiones es atribuido al factor de que las uniones musculo-tendinosas de atletas con baja movilidad pueden no estar suficientemente preparadas para conservar y liberar las altas cantidades de energía elástica generadas durante los repetidos movimientos a alta intensidad que se producen en el deporte (Witvrouw, Danneels, Asselman, D'Have, & Cambier, 2003). Centrándonos en el waterpolo, su clasificación como deporte "overhead", lo une a otras disciplinas como el béisbol, voleibol, natación, balonmano o tenis, en las que el movimiento repetitivo y crónico del brazo por encima de la cabeza, provoca un desgaste en la articulación del hombro (Cools, Johansson, Borms, & Maenhout, 2015). Es esta repetición de movimientos de forma crónica, como el nado o las acciones de pase y lanzamiento, las que producen adaptaciones músculo-esqueléticas y que generan cambios en el rango de movimiento de articulaciones, como, en este caso, el hombro (A. Hams, Evans, Adams, Waddington, & Witchalls, 2019). Estas adaptaciones o alteraciones provocan principalmente un aumento en el rango de movimiento en rotación externa del hombro dominante, si bien esto pueden generar una mejora del rendimiento, debido

al mayor recorrido que realiza el brazo y la articulación del hombro en la primera fase del lanzamiento, generando una mayor aceleración (A. H. Hams, Evans, Adams, Waddington, & Witchalls, 2019b; Witwer & Sauers, 2006). Además de este aumento, A. Hams et al., (2019), indican que también se produce una reducción en el rango de movimiento en rotación interna. Esta adaptación es conocida como Glenohumeral Internal Rotation Deficit (GIRD), y es común a los deportes "overhead", anteriormente citados (Cools et al., 2015). Esta puede ser calculada restando la rotación interna del brazo dominante a la del no brazo dominante. Hams et al., (2019), en su estudio con waterpolistas, mencionan unos valores medios de 104,8º en rotación externa en brazo dominante y 96,67º, en el brazo no dominante. En cuanto a la rotación interna, otorgan unos valores medios de 45,5º en el brazo dominante y 56,2º en el brazo no dominante. En el estudio realizado por Turgut et al. (2018), obtuvieron valores significativamente más altos, siendo estos 127,8±13,1º y 124,7±9º para brazo dominante y no dominante, respectivamente. Además, otros estudios realizados con deportistas "overhead", describen valores similares a los citados en primer lugar (Ellenbecker, Roetert, Bailie, Davies, & Brown, 2002; Holt, Boettcher, Halaki, & Ginn, 2017; Myklebust, Hasslan, Bahr, & Steffen, 2013). En cuanto a la rotación interna, A. Hams et al. (2019) otorgan unos valores medios de 45,5º en el brazo dominante y 56,2º en el brazo no dominante. Al igual que con los valores de rotación interna, Turgut et al. (2018) establecen tras su estudio unos valores aproximados de 77,4º en el brazo dominante y 80,8º en el no dominante, pudiendo estas diferencias ser debidas a la metodología utilizada para la medición de la movilidad. Siguiendo a A. Hams et al. (2019) otras variables interesantes a tener en cuenta en cuanto para valorar la movilidad del hombro, y que pueden ser utilizadas para observar adaptaciones y descompensaciones, son el GIRD

anteriormente citado, cuyos valores en deportistas sanos serán de 9,8º, aproximadamente, siendo valores mucho mayores posible factor de lesión (18º en un grupo de lesionados); la ganancia de rotación externa (ER GAIN), que se calcula restando el rango de movimiento en rotación externa del hombro no dominante, al del dominante, y cuyos valores serán cercanos a 8,9º, siendo más bajos un posible factor de lesión (0,56º el grupo de lesionados); y el rango total de movimiento de cada brazo (TROM), que se calcula sumando la rotación interna y la rotación externa, de cada uno de los brazos, siendo este un gran predictor de futuras lesiones, pudiendo indicar una descompensación una diferencia mayor o igual a 7,5º entre brazos.

Además de la movilidad, otro pilar fundamental en el rendimiento deportivo, además de la prevención de lesiones es la fuerza que el deportista es capaz de aplicar. Así pues, valores como los déficit de fuerza entre extremidades, ratios de fuerza desarrollada, fuerza reactiva o picos de fuerza y potencia, pueden ser grandes predictores tanto de un rendimiento óptimo como de posibles descompensaciones que acaben generando lesiones. (Maestroni, Read, Bishop, & Turner, 2020). El waterpolo, por su parte, es un deporte de equipo de continuo contacto con el rival con especial énfasis en acciones de nado, salto y lanzamiento, y que requiere niveles altos de fuerza para empujar, bloquear y sujetar rivales durante el juego (Smith, 1998) Así pues, la fuerza y la potencia serán de especial importancia para la participación en el waterpolo a nivel profesional (Ferragut et al., 2011). Además, como se ha mencionado anteriormente, la fuerza será importante, no sólo en vistas de una mejora del rendimiento, sino también como un mecanismo de prevención de lesiones. Siguiendo a Cools et al. (2015), uno de los mayores factores de riesgo de lesión en deportes como el waterpolo, son los desequilibrios de fuerza en el manguito

de los rotadores, que juegan una parte fundamental en la estabilización del hombro durante la acción del lanzamiento (Hams, Evans, Adams, Waddington, & Witchalls, 2019a). Por tanto, se considera la fase de deceleración del lanzamiento como un momento clave en el que producirse lesiones, debido tanto a la cantidad de energía que se debe controlar al final de este, como a la poca fuerza que poseen los músculos encargados de decelerar el movimiento. Para la prevención de situaciones como la anterior descrita, son varios los autores que citan la importancia de un buen trabajo de fortalecimiento de los músculos encargados de la rotación externa, ya que se considera esta variable la principal a observar para detectar descompensaciones (Cools et al., 2015; A. Hams et al., 2019; A. H. Hams et al., 2019a; Webster et al., 2009). Así pues, los desequilibrios se generarán debido a un mayor incremento de fuerza en los rotadores internos del hombro, que participan constantemente en acciones repetitivas de nado, empujes o lanzamiento, en relación a la fuerza que es capaz de producir esta articulación en rotación externa (Hams et al., 2019a). Siguiendo a estos mismos autores, será interesante la medición de la fuerza que el deportista es capaz de producir en rotación interna y externa con ambos brazos, así como, una vez obtenida esta, relativizarla en relación al peso corporal, y calcular los ratios de fuerza entre rotación externa y rotación interna (ER:IR). De estas variables, Hams et al. (2019), hallaron marcas de fuerza producida en rotación interna de 196,8N en brazo no dominante y 207,9N en brazo dominante; mientras que para la rotación externa, las marcas medias fueron de 128,4N y 133,17N, para los respectivos brazos. En cuanto a los ratios de fuerza ER:IR , se encontraron valores de 0,67 para brazo no dominante, y 0,65 para el brazo dominante. En cuanto a la fuerza relativa al peso, demostraron que valores de ≤16,8% en rotación interna y ≤12,5% en

rotación externa podían ser predictores significativos de posibles futuras lesiones en el hombro.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue el de valorar si, tras una intervención en busca del fortalecimiento y mejora del rango articular del hombro, se lograron mejorar las variables que predisponen a un mayor riesgo de lesión y, secundariamente, si existe diferencia entre realizar este trabajo de fortalecimiento o no llevarlo a cabo, en un equipo de waterpolo.

Las hipótesis a partir de las cuáles se inicia el trabajo, son las de que se lograrán aumentos de fuerza, principalmente en rotación externa; y que se ampliará el rango de movimiento de la articulación.

3. Materiales y métodos

3.1. Diseño del estudio

Se realizó un ensayo controlado aleatorizado en el que se midieron el rango de movimiento del hombro en rotación interna y externa, y la fuerza isométrica aplicada por esta misma articulación en los mismos movimientos. Las evaluaciones se realizaron previamente al comienzo de la intervención, y una vez acabada esta, 6 semanas después. Antes de comenzar las evaluaciones, se tomó a la muestra total de participantes y se les dividió en grupos control e intervención, de forma completamente aleatoria, quedando establecidos dos grupos de control, uno de waterpolistas ("Grupo W") y otro de estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte ("Grupo C"), y otro grupo, que llevó a cabo las 6 semanas de programa de fortalecimiento del hombro, al que denominaremos "Grupo WI". Este período de 6 semanas está definido así para coincidir con la última fase de competición del equipo, de forma que todos los deportistas realizon, durante ese período, el mismo tipo de entrenamiento.

3.2. Participantes

28 participantes formaron parte del estudio (edad media = 20.1, SD = 2.6, rango: [16, 24]), siendo 17 de ellos jugadores de waterpolo, del Centro Natación Helios (Zaragoza) de Primera División Nacional. Los otros 10 participantes restantes, fueron estudiantes de 4º curso del Grado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, que se prestaron voluntariamente para participar en el estudio. Los waterpolistas fueron incluidos en base a un mínimo de horas semanales de práctica deportiva, de forma que no podían

participar en el estudio si no realizaban, al menos, 9 horas de entrenamiento, en un mínimo de 4 días semanales. No se establecieron criterios de inclusión en el estudio para los estudiantes del Grado, salvo no tener patologías previas en la articulación del hombro, como cirujías, subluxaciones o dislocaciones. Los sujetos que durante el estudio desarrollasen lesiones o molestias en el hombro, o no se encontrasen satisfechos con el desarrollo de la intervención serían excluidos. Como se ha comentado previamente, el total de participantes se dividirían en 3 grupos: Grupo W (n = 10, 35,71%), Grupo C (n = 9, 32.14%) y "Grupo WI (n = 9, 32.14%).

Variable	Control (n=9)	Sólo entrenamiento(n=10)	Entrenamiento y prevención (n=9)	Total (n=28)
Edad media (SD)	22.22 (1.20)	18.60 (2.46)	19.78 (2.59)	20.14 (2.61)
Peso medio (SD)	72.22 (5.14)	75.09 (10.36)	76.41 (8.23)	74.59 (8.17)

Tabla 1. Descripción de la muestra.

Todos los participantes fueron informados previo al comienzo del estudio de los beneficios y riesgos por la participación en el estudio, se les entregó el Consentimiento Informado, siendo entregado firmado por todos ellos.

3.3. Procedimientos

Las evaluaciones fueron llevadas a cabo en las instalaciones del Centro Natación Helios, utilizándose una sala polivalente, en la que se realizaron todas las mediciones. Previamente a la realización de estas, se les explicó a los participantes el procedimiento que se seguiría. Las pruebas se realizaron el mismo día, por el mismo investigador, tratando así de evitar posibles diferencias entre mediciones. Además, se realizaron, tanto los pre-tests como los post-tests a la misma hora del día, y aconsejando a los participantes haber seguido un estilo de vida similar las 24 horas antes.

3.3.1. Test de fuerza máxima isométrica

Siguiendo el protocolo propuesto por Terol-Sanchis, Elvira-Aranda, Gomis-Gomis, & Pérez-Turpin (2021), se realizó un test para la medición de la fuerza isométrica aplicada por el hombro en los movimientos de rotación interna y externa mediante una galga extensiomética (Chronojump Bosco System), siendo valorados tanto el brazo dominante como no dominante. Previamente al uso de esta galga de fuerza, se calibraría utilizando un peso estandarizado. Se realizaron 3 contracciones máximas voluntarias por cada brazo, tomando la media de la fuerza obtenida (N) durante los 3-5 segundos de duración de cada contracción. Entre cada intento se descansó 1 minuto. La posición del participante para esta medición fue en posición sentada, en una silla, que permitiese colocarse con una flexión de cadera de 90º, con muslos apoyados en el asiento, y las rodillas a 90º. El brazo que no esté siendo medido se colocó reposando sobre la cadera de ese mismo lado. El brazo evaluado, estará en posición de 90º de flexión de codo. Cada contracción se realizó de forma que no se produjesen movimientos extraños con el cuerpo,

pudiendo generar compensaciones para aumentar la fuerza generada. La diferencia en la medición entre rotación interna o externa, vino dada por la colocación respecto a la posición de la galga, estando nuestro cuerpo más separado del anclaje de la galga al medirse la rotación interna que la externa.

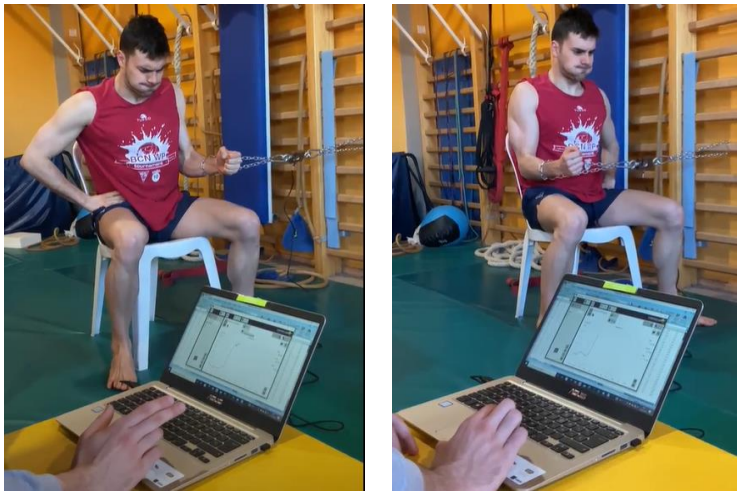

Imagen 1. Test de fuerza isométrica para rotación interna y externa, de izquierda a derecha, respectivamente.

3.3.2. Test de movilidad articular

Para la evaluación del rango de movimiento de la articulación del hombro, nos basamos en el protocolo propuesto por Hams, Evans, Adams, Waddington, & Witchalls (2019). Para ello, el sujeto evaluado, se colocó en una camilla en posición de tendido supino, con el cuerpo completamente apoyado sobre ella, el hombro medido se colocó en 90º de abducción, el codo en 90º de flexión y el antebrazo en una posición neutral. El examinador posó el móvil en la cara dorsal del antebrazo para la medición de rotación interna, y en la cara ventral para la medición de rotación externa. Para la medición se utilizó la aplicación móvil "MyRom" (Balsalobre, Romero & Jiménez 2019) Desde la posición

inicial anteriormente citada, se movió el brazo de forma pasiva, hasta alcanzar el máximo punto del rango de movimiento. La elevación del hombro respecto a la posición de contacto con la camilla o la percepción de dolor por parte del sujeto evaluado fueron criterios para determinar la finalización de la prueba. Los ángulos obtenidos en las diferentes pruebas fueron medidos en grados (º), utilizándose para la referencia final la media de 3 mediciones. Así pues, las mediciones fueron realizadas en el siguiente orden: tres veces la rotación externa del hombro izquierdo y otras tres la del hombro derecho; posteriormente, tres veces la rotación externa del hombro izquierdo y otras tres la del hombro derecho.

Imagen 2. Test de movilidad articular del hombro, en rotación externa e interna, de izquierda a derecha, respectivamente.

3.3.3. Protocolo de fortalecimiento del hombro

Una vez finalizado el período de pre-tests, se comenzó inmediatamente con la intervención. A lo largo de este período de 6 semanas, el volumen y tipo de entrenamiento específico de waterpolo sería similar en el Grupo

Control de waterpolistas y el grupo Intervención, diferenciándose únicamente entre ellos por la realización del protocolo de fortalecimiento del hombro previo al entrenamiento.

El protocolo recién citado fue realizado 3 veces por semana, a lo largo de 6 semanas, teniendo cada sesión una duración de unos 35 minutos. Todas las sesiones fueron controladas por el evaluador, de forma que si no se realizaba alguno de los ejercicios propuestos correctamente, se dió feedback y se corrigió la técnica de inmediato, además, los deportistas tuvieron así la oportunidad de presentar posibles dudas o comunicar si existían molestias o dolores al realizar cualquiera de los ejercicios.

La frecuencia semanal de trabajo, el volumen de entrenamiento, en series y repeticiones, y los ejercicios incluidos en el programa de fortalecimiento fueron extraídos de estudios previos (Hibberd, Oyama, Spang, Prentice, & Myers, 2012), que estudiaron la activación de los músculos que conformaban la articulación del hombro y permitían realizar sus diferentes movimientos, de forma que se fortaleciese entre todos los ejercicios, la totalidad de músculos. Todos estos ejercicios fueron realizaron con bandas elásticas, de la misma resistencia, en un entorno estable, siendo siempre el mismo lugar de trabajo. Así pues, el protocolo fue conformado por la realización 3 veces a la semana, de 3 series, de 15 repeticiones cada una de ellas, de un total de 11 ejercicios.

Tabla 2 y 3. Características del protocolo de fortalecimiento

Tiempo de realización	**Series x Repeticiones**	**Ejercicios**
6 semanas 3 días x semana	3x15	Flexión hombro; extensión hombro; IR en 90º; ER en 90º; aceleración de lanzamiento; deceleración de lanzamiento; remos bajos; empujes de pecho; Y´s; T´s; W´s

A continuación se describen los diferentes ejercicios ejecutados (Cools et al., 2015; Hibberd et al., 2012; Myers et al, 2005; Ekstrom et al, 2003):

Ejercicio	**Activación muscular**	**Características del ejercicio**
Flexión hombro	DA, Romb, SA, Sub, RM	
Extensión hombro	Dors, Romb, Sub, Tri, RM	Fortalecimiento estabilizadores escapulares
Rotación interna en 90º	TI, Romb, SA, Sub, RM	
Rotación externa en 90º	TI, Romb, SA, Sub, Supra, RM	Fortalecimiento estabilizadores escapulares
Aceleración de lanzamiento	TI, Romb, SA, Sub, RM	Fortalecimiento estabilizadores escapulares,

		mejorar propiocepción
Deceleración de lanzamiento	TI, Romb, Sub, Supra, RM, TS	ER débil, mejora la propiocepción
Remos bajos	Romb, Sub. RM	Fortalecimiento estabilizadores escapulares
Empujes de pecho	Romb, SA, Sub, RM	Fortalecimiento SA
Y´s T´s W´s	TI, TM, SA Infra, TM, SA, RM, TS Infra, TI, Romb, Supra, RM	Fortalecimiento estabilizadores escapulares, incrementa movimientos de la escapula (inclinación, retracción, elevación), ER

Abreviaturas: DA, deltoide anterior; Romb, romboides; SA, serrato anterior; Sub, subescapular; RM, redondo menor; Dors, dorsal ancho; Tri, tríceps; Supra, supraespinoso; TI, trapecio inferior; TM, trapecio medio; TS; trapecio superior; Infra, infraespinoso.

3.4. Análisis estadístico

La limpieza, manipulación y análisis del trabajo se realizó con el software R (R Core Team 2021). Los parámetros modelo fueron descritos y presentados de acuerdo a *bayestestR* Reporting Guidelines (Makowski, Ben-Shachar, Chen, & Lüdecke, 2019). La descripción de los datos fue presentada atendiendo a la media (SD) y se ajustaron a modelos bayesianos lineales sobre el tiempo (nivel de referencia "Semana 0"), grupo (nivel de referencia "Control") y su posible

interacción. Los modelos incluyeron estructuras de efectos aleatorios justificadas por la asignación de grupos. Para todas las medias relevantes y las diferencias entre ellas, se informaron los valores esperados bajo la distribución posterior y su posible intervalos de confianza (CI) al 95 %. Para describir la existencia de cada efecto reflejamos la probabilidad de dirección (pd), representando la asociación más probable de su efecto (positiva o negativa). Se interpretaron pd <= 95%, pd > 95%, pd > 97%, pd > 99% y pd > 99.9% como incierta, posiblemente existente, seguramente existente, probablemente existente y ciertamente existente, respectivamente.

4. Resultados

La realización de un programa preventivo de fortalecimiento del hombro, añadiéndose a las sesiones ordinarias de waterpolo, durante 6 semanas resultó en un aumento significativo del ROM total de ambos hombros (Dominante, incremento medio = 16,73º, 95% CI de 11,56º a 22,07º, pd = 100%; No dominante, incremento medio = 15,29º, 95% CI de 8,15º a 22,56º, pd=99,97%). Por otra parte, los cambios en el ROM total fueron inapreciables, en el grupo W (Dominante, pd = 79,52%; No dominante, pd = 87,52%) y en el grupo C (Dominante, pd = 67,78%; No dominante, pd = 51,45%). A pesar de los efectos en el ROM total, la realización del programa preventivo no tuvo influencia en la asimetría en el ROM total (cambio medio = 3,08º, 95% CI de -5,92 a 12,08º, pd = 75,03%), GIRD (cambio medio =2,08º, 95% CI de -5,28º a 9,43º, pd = 71,38%) y ER gain (cambio medio = -0,93º, 95% CI de -4,98º to 3,29º, pd = 66,83%). Los mismos hallazgos se aplican también a los grupos C y W.

Por otra parte, el torque producido en rotación se desarrolló de forma diferente entre hombros. En el caso del hombro de lanzamiento, la IR no mejoró en ninguno de los grupos (Grupo WI cambio medio = 0,31%, 95% CI de -14,31º, pd =51,87%; Grupo W cambio medio = -5,12%, 95% CI de -19,03º a 7,75º, pd = 78,73%; Grupo C cambio medio = -2,09%, 95% CI de -15,11º a 10,7º, pd = 62,07%). En cambio, el torque producido por el hombro en ER se vió mejorado en los jugadores que llevaron a cabo el programa de prevención, (cambio medio = 9,30%, 95% CI de 4,60º a 14,01º, pd = 99,97%), no mucho en los del grupo W (cambio medio = 3,49%, 95% CI de -1,12º a 7,91º, pd = 93,37%) y nada en el grupo C (cambio medio =0,32%, 95% ci de -4,25º a 5,04º, pd=55,52º). En el brazo no lanzador, el torque en IR mejoró para el grupo WI (cambio medio = 4,88%, 95% CI de -0,12º 9,70º, pd =97,27%) pero

disminuyó en el grupo W (cambio medio = -7,08%, 95% CI de -12,03º a -2,49º, pd = 99,67%), sin diferencias significativas en el grupo C (cambio medio = -0,64%, 95% CI de -5,75º a 4,32º, pd = 60,22%). Además, la ER en el brazo no lanzador, mejoró en el grupo WI (cambio medio = 10,21%, 95% CI de 5,60º a 14.57º, pd = 100%) mientras que en el grupo W no obtuvo resultados claros (cambio medio = 3,02%, 95% CI de -1,10º a 7,64º, pd = 91,33%) y en el grupo C no se produjo ninguna mejora (cambio medio = 0.95%, 95% CI de -3,55º to 5,52º, pd = 65,95%).

Los ratios de fuerza (ER/IR) no mejoraron con el paso de las 6 semanas para el brazo encargado del lanzamiento (grupo WI cambio medio = 0,01, 95% CI de -0,05 a 0,08, pd = 62,22%; grupo W cambio medio = 0,02, 95% CI de -0,04 a 0,08, pd = 78.65%; grupo C cambio medio = 0.02, 95% CI de -0,05 to 0,08, pd = 73,20%), ni para el brazo no lanzador (grupo WI cambio medio = -0,05, 95% CI from -0,13 to 0,01, pd = 93.88%; grupo W cambio medio = -0,02, 95% CI from -0,09 to 0,05, pd = 73,32%; grupo C cambio medio = 0,02, 95% CI from -0,05 to 0,09, pd = 69,52%).

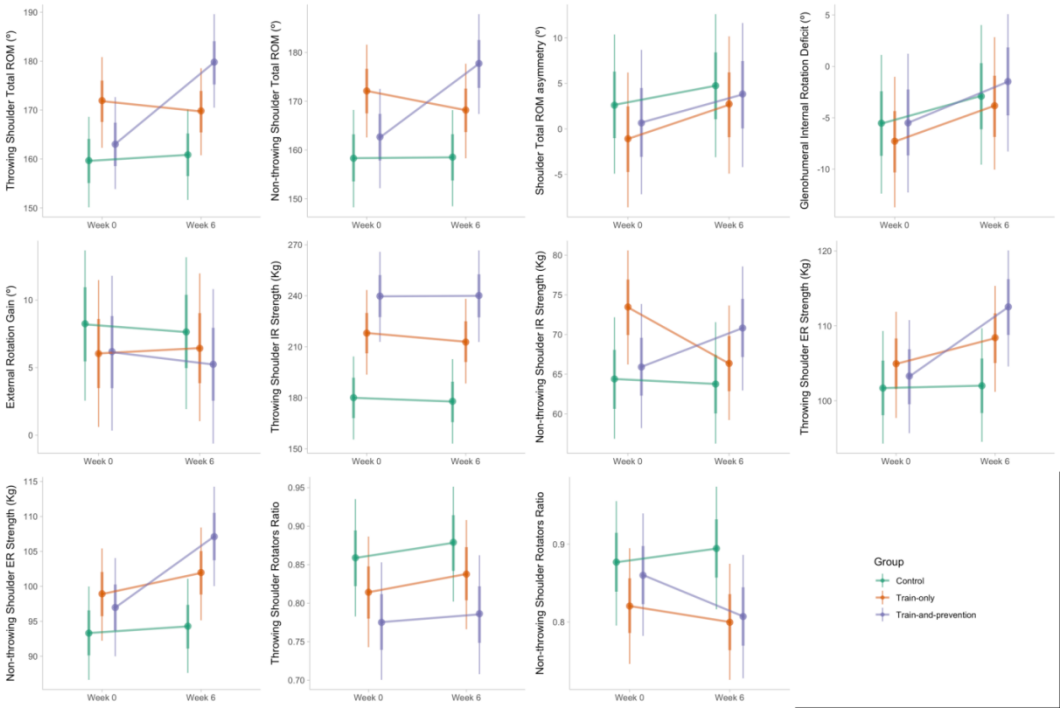

Figura 1. Resultados tras el análisis estadístico de los datos obtenidos.

5. Discusión

Los resultados de este estudio sugieren que la realización de un programa de entrenamiento preventivo de 6 semanas de duración provoca una mejora del ROM de la articulación glenohumeral de los participantes incluidos en el grupo WI en relación con los de los grupos W y C, sin modificaciones en las comparaciones de asimetría contralateral entre miembros. Los valores relativos al ROM en ER e IR evolucionaron de manera diferente entre hombros. Para el lado dominante (brazo de lanzamiento), el ER mejoró sólo en el grupo de waterpolistas sometidos al programa de intervención (WI), sin embargo, no se apreciaron mejoras en ningún grupo para la valoración de IR. Respecto al lado no dominante, en cambio, se observaron mejoras tanto en ER como en IR en los grupos WI y W, pero no para el grupo C. Finalmente, no se observaron mejoras de fuerza en ninguno de los 3 grupos.

Desde una perspectiva global nuestros resultados son comparables con estudios previos que reportaron mejoras en el ROM de la articulación glenohumeral tras la aplicación de planes de entrenamiento preventivo (Kaćanski, Gava, & Soldatović, 2011; Webster et al., 2009; Witwer & Sauers, 2006). Estos datos, reforzarían la necesidad de aplicar trabajos paralelos al entrenamiento normalizado para mejorar la elasticidad de los tejidos propios de la articulación del hombro. Las posibles asimetrías entre brazos, por el contrario, fueron comparables entre los grupos para las variables GIRD, GERD y ROM total, tanto en situación de pre-test como en situación de post-test. Además, a pesar de identificar una mejora del ROM en el grupo WI, no se evidenciaron cambios en la asimetría entre brazo dominante y no dominante, y los valores obtenidos siempre se encontramos dentro de las posibles variaciones aceptadas como posible riesgo lesivo; menores a 9.8º y 7.5º para la articulación glenohumeral en déficit de rotación y ROM total, respectivamente (A.

Hams et al., 2019). Estos resultados coinciden con las aportaciones realizadas por (Borsa, Laudner, & Sauers, 2008) quienes afirmaron que el ROM entre hombros es simétrico en atletas que realizan deportes considerados “overhead.

Considerando las peculiaridades de movimiento de este deporte y los resultados obtenidos en este trabajo, se identifican requerimientos biomecánicos propios para cada lado corporal: Por un lado, el brazo de lanzamiento que demanda una alta movilidad que garantice tanto la activación muscular como su posterior relajación en las acciones dinámico explosivas propias del lanzamiento y por otro, el lado contralateral que está sujeto a la acción de nado y al pase de balón principalmente. En este sentido, los resultados obtenidos en este trabajo relativos a la mejora en el ER del brazo dominante tras la aplicación de un plan específico de trabajo ratificarían los valores descriptivos propios para waterpolistas. El hecho de que se consigan mejoras en el ROM de la fase de ER no sólo iría en línea con la relación entre la menor incidencia lesiva y un mayor ROM en ER (Eliot, 1993; Witwer & Sauers, 2006), sino que también ayudaría a mejorar el rendimiento en el lanzamiento. Esto se debería, a pesar de no haber medido indicadores de rendimiento como por ejemplo la velocidad de lanzamiento, a que algunos estudios relacionan las mejoras en ER con el aumento del recorrido de la fase de carga, situación que provoca una mayor competencia debido a una mayor ROM disponible. Esto se traduciría en la disposición de un recorrido mayor en la fase de aceleración y por tanto un aumento evidente de la velocidad del lanzamiento (A. H. Hams et al., 2019b; Witwer & Sauers, 2006). La ausencia de mejoras en el IR en los grupos de intervención (tanto en el grupo W como WI) podría ser debido, como algunos investigadores describen, a que esta movilidad está asociada a una cicatrización reactiva o contractura crónica de los tejidos blandos periescapulares consecuencia de las continuas fases de

frenados propias de los lanzamientos realizados (Borsa et al., 2008). Teoría que también podrían explicar porque no se obtuvieron mejoras en IR del brazo dominante ni para el grupo de waterpolistas sometido al plan de intervención (WI) ni para el grupo de waterpolistas que siguió un entrenamiento normalizado (W).

Los resultados obtenidos para el brazo no dominante irían en la línea de las conclusiones descritas por Hams et al. (2019), quienes afirmaron que los movimientos repetitivos durante el entrenamiento normalizado en el brazo no dominante son estímulo suficiente para generar adaptaciones músculo-esqueléticas (Hams et al., 2019). Esta conclusión explicaría por qué se han obtenidos mejoras en ambos grupos de intervención, tanto en el grupo WI como en el grupo W. Por tanto, y en relación a estos datos, pondríamos en duda la necesidad de aplicar planes entrenamientos específicos para el lado no dominante en el caso de que el deportista tenga ya adquirido un ROM dentro de los valores considerados como normales. Parece ser que la simple realización de un entrenamiento normalizado lleva asociado ganancia tanto en ER como en IR en esta articulación.

Finalmente, en relación a la variable fuerza presupusimos que la realización de un programa de entrenamiento adicional mejoraría significativamente los valores de fuerza tanto ER como en IR en el grupo WI, y, sin embargo, no encontramos diferencias entre grupos. Este resultado nos sugiere que posiblemente la intensidad prescrita en relación a la carga y a la velocidad de ejecución de los ejercicios no alcanzara un umbral mínimo para representar el estímulo necesario para conseguir adaptaciones específicas en los niveles de fuerza aplicada (Alix-Fages, Del Vecchio, Baz-Valle, Santos-Concejero & Balsalobre-Fernández., 2022). Si bien es cierto que en la literatura científica existen evidencias de mejoras en la fuerza desde una perspectiva de rendimiento en grupos de waterpolistas semi y profesionales (Keiner,

Rähse, Wirth, Hartmann, Fries & Haff., 2020; Martin, Pareja-Blanco, De Villareal., 2021), los resultados evidenciados en este estudio son similares a los obtenidos en otros trabajos que siguieron planes de entrenamiento similares al nuestro y donde tampoco se encontraron mejoras en la fuerza desde un punto de vista funcional (Hibberd et al., 2012). Al analizar la literatura científica en el campo de la natación los resultados son contradictorios y observamos cierta disparidad en los efectos provocados, desde estudios que reportan la eficiencia al llevar a la práctica programas de entrenamiento paralelos al entrenamiento normalizado u otros que no obtuvieron mejoras (Batalha, Marmeleira, Garrido, & Silva, 2015; Leppänen, Aaltonen, Parkkari, Heinonen, & Kujala, 2014). Por tanto, se debe considerar que el tipo de intervención diseñada por parte de los entrenadores tiene una relación directa con el efecto de entrenamiento que se pretende conseguir y no el mero hecho de aplicar un trabajo específico garantiza una reducción del riesgo lesivo o una mejora del rendimiento. A pesar de ello, las recomendaciones generales en relación a los deportes considerados "overhead" determinan la necesidad de aplicar ejercicios de tipo funcional que mejoren los niveles de fuerza de rotación del hombro, sobre todo en la fase de ER de la articulación dominante (Yildiz et al., 2006).

Futuras líneas de investigación deberían de analizar el propio plan de entrenamiento diseñado y basarse exclusivamente en los métodos más efectivos tanto para la reducción del riesgo lesivo como para la mejora del rendimiento, pudiendo variarse el tiempo de realización de la intervención, los ejercicios realizados o variables como la intensidad, frecuencia o volumen de entrenamiento, de forma que se pueda observar el progreso de los deportistas ante estos cambios, e incluso determinar qué variables son las más importantes a la hora de diseñar un programa preventivo. Añadir también, que debido a la escasez de literatura científica en el campo del

waterpolo sería necesario tener en consideración indicadores de rendimiento dentro del análisis en relación a los efectos del plan entrenamiento diseñado, como podría ser la velocidad de lanzamiento.

6. Conclusiones

La aplicación de un programa de entrenamiento preventivo provoca mejoras del ROM de la articulación glenohumeral. Los valores de rango de movimiento en ER y IR evolucionan de manera diferente entre hombros, mejorando la ER en el brazo de lanzamiento sólo en el grupo de waterpolistas sometidos a la intervención, pero no en ningún otro grupo en la valoración de IR. Para el lado no dominante, se observaron mejoras tanto en ER como en IR en la totalidad de waterpolistas independientemente a la realización o no del plan intervención. No se observaron mejoras ni la variable fuerza ni en las posibles asimetrías contralaterales.

La realización de un programa de prevención de lesiones en la articulación glenohumeral puede ser interesante en la totalidad de equipos de waterpolo –y cualquier deporte "overhead"-, debido a su alta tasa de lesionalidad, siempre que este sea individualizado y pautado en base a las características del propio equipo y sus deportistas, teniendo en cuenta variables como la movilidad y fuerza que son capaces de aplicar, principalmente en su brazo dominante.

7. Bibliografía

Alix-Fages, C., Del Vecchio, A., Baz-Valle, E., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2022). The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. *European journal of applied physiology*, *122*(5), 1111–1128. https://doi.org/10.1007/s00421-022-04906-6

Balsalobre-Fernández, C., Romero-Franco, N., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Concurrent validity and reliability of an iPhone app for the measurement of ankle dorsiflexion and inter-limb asymmetries. *Journal of Sports Sciences*, *37*(3), 249–253. https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1494908

Batalha, N., Marmeleira, J., Garrido, N., & Silva, A. J. (2015). Does a water-training macrocycle really create imbalances in swimmers'shoulder rotator muscles? *European Journal of Sport Science*, *15*(2), 167–172. https://doi.org/10.1080/17461391.2014.908957

Batalha, N., Raimundo, A., Tomas-Carus, P., Paulo, J., Simão, R., & Silva, A. J. (2015). Does a land-based compensatory strength-training programme influences the rotator cuff balance of young competitive swimmers? *European Journal of Sport Science*, *15*(8), 764–772. https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1051132

Borsa, P. A., Laudner, K. G., & Sauers, E. L. (2008). Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: A theoretical and evidence-based perspective. *Sports Medicine*, *38*(1), 17–36. https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00003

Brooks, J. M. (1999). Injuries in water polo. *Clinics in Sports Medicine*, *18*(2), 313–

319. https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70147-2

Cejudo, A., de Baranda, P. S., Ayala, F., Croix, M. D. S., & Santonja-Medina, F. (2020). Assessment of the range of movement of the lower limb in sport: Advantages of the rom-sport i battery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(20), 1–25. https://doi.org/10.3390/ijerph17207606

Cools, A. M., Johansson, F. R., Borms, D., & Maenhout, A. (2015). Prevention of shoulder injuries in overhead athletes: A science-based approach. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, *19*(5), 331–339. https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0109

Croteau, F., Brown, H., Pearsall, D., & Robbins, S. M. (2021). Prevalence and mechanisms of injuries in water polo: A systematic review. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, *7*(2), 1–12. https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001081

Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., & Soderberg, G. L. (2003). Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *33*(5), 247–258. https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.5.247

Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., Bailie, D. S., Davies, G. J., & Brown, S. W. (2002). Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(12), 2052–2056. https://doi.org/10.1097/00005768-200212000-00028

Ferragut, C., Vila, J. A., Abraldes, F., Argudo, N., Rodriguez, P. E., & Alcaraz. (2011). Relationship among maximal grip, throwing velocity and anthropometric

parameters in elite water polo players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *51*(1), 26–32.

Fredriksen, H., Cools, A., Bahr, R., & Myklebust, G. (2020). Does an effective shoulder injury prevention program affect risk factors in handball? A randomized controlled study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *30*(8), 1423–1433. https://doi.org/10.1111/sms.13674

Hams, A., Evans, K., Adams, R., Waddington, G., & Witchalls, J. (2019). Reduced shoulder strength and change in range of motion are risk factors for shoulder injury in water polo players. *Physical Therapy in Sport*, *40*, 231–237. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.10.003

Hams, A. H., Evans, K., Adams, R., Waddington, G., & Witchalls, J. (2019a). Shoulder internal and external rotation strength and prediction of subsequent injury in water-polo players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *29*(9), 1414–1420. https://doi.org/10.1111/sms.13459

Hams, A. H., Evans, K., Adams, R., Waddington, G., & Witchalls, J. (2019b). Throwing performance in water polo is related to in-water shoulder proprioception. *Journal of Sports Sciences*, *37*(22), 2588–2595. https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1648987

Hibberd, E. E., Oyama, S., Spang, J. T., Prentice, W., & Myers, J. B. (2012). Effect of a 6-week strengthening program on shoulder and scapular-stabilizer strength and scapular kinematics in division I collegiate swimmers. *Journal of Sport Rehabilitation*, *21*(3), 253–265. https://doi.org/10.1123/jsr.21.3.253

Holt, K., Boettcher, C., Halaki, M., & Ginn, K. A. (2017). Humeral torsion and

shoulder rotation range of motion parameters in elite swimmers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *20*(5), 469–474. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.002

Kaćanski, I., Gava, B. P., & Soldatović, S. (2011). Analysis of the shoulder joint mobility in overhead sports before and after experimental treatment. *Medicinski Pregled*, *64*(11–12), 539–544. https://doi.org/10.2298/MPNS1112539K

Kim, H. C., & Park, K. J. (2020). Injuries in male and female elite aquatic sports athletes: An 8-year prospective, epidemiological study. *Journal of Sports Science and Medicine*, *19*(2), 390–396.

Leppänen, M., Aaltonen, S., Parkkari, J., Heinonen, A., & Kujala, U. M. (2014). Interventions to prevent sports related injuries: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Sports Medicine*, *44*(4), 473–486. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0136-8

Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., & Turner, A. (2020). Strength and Power Training in Rehabilitation: Underpinning Principles and Practical Strategies to Return Athletes to High Performance. *Sports Medicine*, *50*(2), 239–252. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01195-6

Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdecke, D. (2019). Indices of Effect Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*, *10*(December), 1–14. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767

Mascarin, N. C., De Lira, C. A. B., Vancini, R. L., Pochini, A. de C., da Silva, A. C., & Andrade, M. dos S. (2017). Strength training using elastic bands: Improvement of muscle power and throwing performance in young female

handball players. *Journal of Sport Rehabilitation*, *26*(3), 245–252. https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0153

Myers, L. J.; Pasquale, M. R. ; Laudner, K. G.; Sell, T. C.; Bradley, J. P.; Lephart, S. M., (2005). On-the-Field Resistance-Tubing Exercises for Throwers: An Electromyographic Analysis. *Journal of Athletic Training*, *40*(1), 15–22. https://doi.org/10.1002/9781119410867.ch9

Myklebust, G., Hasslan, L., Bahr, R., & Steffen, K. (2013). High prevalence of shoulder pain among elite Norwegian female handball players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *23*(3), 288–294. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01398.x

Oranchuk, D. J., Ecsedy, E. N., & Robinson, T. L. (2021). Effects of a Sport-Specific Upper-Body Resistance-Band Training Program on Overhead Throwing Velocity and Glenohumeral Joint Range of Motion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(11), 3097–3103. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003303

Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *31*(10), 1866–1881. https://doi.org/10.1111/sms.14006

Prien, A., Mountjoy, M., Miller, J., Boyd, K., Van Den Hoogenband, C., Gerrard, D., Junge, A. (2017). Injury and illness in aquatic sport: How high is the risk? A comparison of results from three FINA World Championships. *British Journal*

of Sports Medicine, *51*(4), 278–283. https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096075

Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *24*(4), 351–359. https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0047

Pyne, D. B., Verhagen, E. A., & Mountjoy, M. (2014). Nutrition, illness, and injury in aquatic sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *24*(4), 460–469. https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0008

Smith, H. K. (1998). Applied Physiology in Waterpolo. *Sports Medicine*, *26*(5), 317–334.

Stromberg, J. D. (2017). Care of water polo players. *Current Sports Medicine Reports*, *16*(5), 363–369. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000409

Terol-Sanchis, M., Elvira-Aranda, C., Gomis-Gomis, M. J., & Pérez-Turpin, J. A. (2021). The Relationship Between Speed and Strength in the Beach Volleyball Serve. *Journal of Human Kinetics*, *80*(1), 39–47. https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0099

Turgut, E., Yildiz, T. I., Demirci, S., Eraslan, L., Ulusoy, B., Tok, D., … Ergun, N. (2018). Shoulder kinematics and mobility adaptations in water-polo players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *58*(9), 1264–1268. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07674-5

Webster, M. J., Morris, M. E., & Galna, B. (2009). Shoulder pain in water polo: A systematic review of the literature. *Journal of Science and Medicine in Sport*,

12(1), 3–11. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.05.014

Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T., & Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, *31*(1), 41–46. https://doi.org/10.1177/03635465030310011801

Witwer, A., & Sauers, E. (2006). Clinical measures of shoulder mobility in college water-polo players. *Journal of Sport Rehabilitation*, *15*(1), 45–57. https://doi.org/10.1123/jsr.15.1.45

Yildiz, Y., Aydin, T., Sekir, U., Kiralp, M. Z., Hazneci, B., & Kalyon, T. A. (2006). Shoulder terminal range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios in overhead athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *16*(3), 174–180. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00471.x

8. Anexos

8.1. Publicación científica en revista Life (Q2, Biology)

life MDPI

Article

The Effectiveness of Shoulder Mobility and Strength Programs in Competitive Water-Polo Players

Isaac López-Laval [1,*], Jaime Cantonero [1], Francisco Corbi [2] and Rafel Cirer-Sastre [2]

[1] Faculty of Health and Sport Sciences (FCSD), University of Zaragoza, 22002 Huesca, Spain; 777017@unizar.es (J.C.)
[2] Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida (UdL), 25192 Lleida, Spain; f@corbi.neoma.org (F.C.); rcirer@inefc.es (R.C.-S.)
* Correspondence: isaac@unizar.es

Abstract: Background: Water-polo is the water sport with the highest incidence of injuries, with shoulder pain being the most common one. The understanding of risk factors and guidance on preventive measures is essential in this sport discipline. The aim of this study was to determine the effects of a specific 6-week training plan on range of motion (ROM) and joint strength levels in a group of professional water-polo players. Methods: Quasi-experimental study with a sample of 28 participants (age: 20.1 ± 2.5 years; height: 176.9 ± 6.2 cm; body mass: 74.6 ± 8.1 kg). Three study groups, which consisted of one control group and two experimental groups, were established. Two repeated measurements, pre and post intervention, were performed. During these measurements, ROM of the glenohumeral joint was analyzed both in external (ER) and internal (IR) rotation, as well as the maximal isometric strength. Conclusions: The application of a training program improved glenohumeral joint ROM. ER and IR evolve differently in both shoulders. ER improved only in the throwing arm only in the group undergoing intervention but for the non-dominant side, improvements were observed in both ER and IR, regardless of whether or not they had followed the intervention plan. No improvements were observed in either the isometric strength or contralateral asymmetries.

Keywords: water-polo; range of movement; strength; acute effects

check for updates

Citation: López-Laval, I.; Cantonero, J.; Corbi, F.; Cirer-Sastre, R. The Effectiveness of Shoulder Mobility and Strength Programs in Competitive Water-Polo Players. *Life* **2022**, *12*, 758. https://doi.org/10.3390/life12050758

Academic Editor: Jose Ignacio Priego-Quesada

Received: 4 May 2022
Accepted: 19 May 2022
Published: 20 May 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Water-polo is a collaborative opposition sport that combines throwing actions, technical ball skills, explosive speed, and continuous swimming [1]. Physical contact between players and large training volumes result in water-polo being the aquatic sport with the highest incidence of injuries [2]. Injuries to the head and fingers resulting from blows and struggles between players, and overuse of the glenohumeral joint generated by constant repetitive movements during swimming and ball throwing, are the most common injuries [3]. Some authors found an injury incidence of 56.2 injuries per 1000 h of play in a competitive situation [4]. One of the peculiarities of this sport is that, like other disciplines such as baseball, volleyball, swimming, handball, or tennis, it is considered an "overhead sport" in which the repetitive and chronic movement of the arm above of the head causes wear and joint overuse [5]. The evidence has shown higher prevalence among overhead sports versus non-overhead sports (61% vs. 33%) [6]. Related to this, shoulder pain is the most common water-polo injury with a reported prevalence of around 24–80% [7]. In swimming, glenohumeral joint injuries may range from 40 to 91% depending on the age group and definition [8], whereas in handball and baseball, a high percentage of athletes reported shoulder pain in the early preseason. According to Wilk et al. (2020), glenohumeral joint problems were in the top four most commonly performed surgical procedures in overhead sports [9].

The main causes reported for this issue in relation with the overhead sports are the range of motion (ROM) and the relationship between joint strength deficit and external rotation (ER) to internal rotation (IR) ratio [10,11]. Water-polo players have increased

ER and decreased IR combined with increased ROM at the dominant glenohumeral joint in comparison to its contralateral side [10,12]. Despite this, there is some controversy regarding the incidence of injury and ROM. For instance, Witvorow et al. (2003) concluded that a limited ROM in the glenohumeral joint has a direct relationship with the incidence of injury in overhead sports due to poor musculoskeletal predisposition to release high levels of elastic energy in high-speed and high-intensity movements [13]. Despite this claim, previous studies with professional water-polo players have not found a direct relationship between shoulder pain and limited ROM [14]. On the contrary, studies that differentially analyzed ROM in ER and IR established a relationship between injured players and a lower ROM in ER than in IR ($p < 0.05$). Along the same lines, Witwer and Sauners (2006) suggested that those water-polo players who did not suffer from pain in the glenohumeral joint presented an increased ER and reduced IR [10].

Other variables studied regarding the possible intra and inter-articular ROM asymmetries and their relationship with injuries are the "glenohumeral internal rotation deficit" (GIRD = decreased IR movement compared to the contralateral side), the "glenohumeral external rotation deficit" (GERD = decreased ER movement compared to the contralateral side), and the asymmetry between the total range of motion of each joint ($_{total}$ROM = ER + IR of each arm). Despite the scarce scientific literature that addresses this variable and its incidence in the field of water-polo, it is known that a glenohumeral rotation deficit of more than 9.8° is associated with a possible shoulder injury. Regarding $_{total}$ROM, it has been determined that a deficit greater than or equal to 7.5° is a predictor of future injuries and indicates contralateral decompensation [15].

Another important element that should be highlighted, not only because of its relationship with performance but also with injury prevention, is the strength of the glenohumeral joint-stabilizing groups. On the one hand, possible force imbalances in the rotator cuff are responsible for the braking during the throwing action. In these situations, a lack of IR strength implies a greater risk of injury in the deceleration phase [16]. On the other hand, the imbalances generated between forces in ER and IR (ER: IR) determine that despite the fact that there may be a difference in force production during ER and IR between dominant arm and non-dominant arms (ER = 133.1 N vs. 128.4 N and IR = 207.9 N vs. 196.8 N respectively), there are hardly any variations in the inter-articular ratio (ER:IR = 0.65 dominant arm vs. 0.67 non-dominant arm) [17]. Despite all this, imbalances in force production are synonymous with a greater probability of suffering an injury [18].

Understanding risk factors and targeting preventive measures are fundamental elements when attempting to improve ROM and joint force production in water-polo players [19]. Therefore, it was hypothesized that the use of specific protocols designed for this purpose could lead to more efficient ROM and improvements of strength in the glenohumeral joint. Accordingly, the aim of this study was to determine the effects of a specific 6-week training plan on ROM and joint strength levels in a group of professional water- polo players.

2. Materials and Methods

2.1. Research Design

The present study was quasi-experimental design with three convenience groups and two repeated measures of the outcome variables, one before the intervention plan training (T_{Pre}) and the other one just after finishing the intervention (T_{Post}). Twenty-eight participants completed this study to investigate the effects of a training plan on the glenohumeral joint ROM and the possible variations in the force applied by professional water-polo players. A first assessment was carried out the week before the start of the study (T_{pre}), where joint mobility tests in both ER and IR and the maximum isometric force test in ER and IR were performed. All tests were performed with both the dominant and non-dominant arms. Once T_{pre} had concluded, the intervention program was applied 3 sessions per week (the plan details are displayed in Table 1.) After 6 weeks, a new assessment was carried out following the same order described (T_{post}). Measurements were always made

in the same place (University Lab, Río Isuela Sport Center, Huesca, Spain), with a mean temperature of 21 ± 2 °C and mean relative humidity of 52 ± 9%. Evaluations were carried out on Thursday and Friday afternoons (from 5 to 8 pm). Participants waited between 48 and 72 h before starting the intervention plan and standardized training after T_{pre}, and also after the completion of the 6 weeks of work, before T_{post}.

Table 1. Characteristics of the intervention strengthening program.

Weeks and Days	Sets × Reps	Exercises
6 weeks 3 days per week	3 × 15	Shoulder flexion; shoulder extension; IR at 90°; ER at 90°; throwing acceleration; throwing deceleration; low rows; scapular punches; Y's; T's; W's
Exercise	**Muscular activity**	**Characteristic addressed**
Shoulder flexion	DA, Rhomb, SA, Sub, RM	
Shoulder extension	Dors, Rhomb, Sub, Tri, RM	Strengthen scapular stabilizers
IR at 90°	TI, Rhomb, SA, Sub, RM	
ER at 90°	TI, Rhomb, SA, Sub, Supra, RM	Strengthen scapular stabilizers, weak ER
Throwing acceleration	TI, Rhomb, SA, Sub, RM	Strengthen scapular stabilizers, improve propioception
Throwing decceleration	TI, Rhomb, Sub, Supra, RM, TS	Weak ER, improve propioception
Low rows	Rhomb, Sub. RM	Strengthen scapular stabilizers
Scapular punches	Rhomb, SA, Sub, RM	Strengthen SA
Y arms movement	TI, TM, SA	Strengthen scapular stabilizers, increases scapular up rotation, post tilt, retraction, and ER
T arms movement	Infra, TM, SA, RM, TS	
W arms movement	Infra, TI, Rhomb, Supra, RM	

Abbreviatons: DA, anterior deltoid; Rhomb, rhomboides; SA, serratus anterior; Sub, subescapularis; RM, teres minor; Dors, latissimus dorsi; Tri, triceps; Supra, supraespinatus; TI, lower trap; TM, middle trap; TS; upper trapezius; Infra, infraespinatus.

The study followed the ethical guidelines of the 2013 Declaration of Helsinki and received approval from the Research Ethics Committee of the autonomous region of Aragon, Spain (The approval code PI21/465, approved on 22 December 2021).

2.2. Participants

Thirty-one subjects voluntarily participated in this study. Twenty-two of the 31 participants were recruited from a professional water-polo team from the Spanish national first division and the rest were undergraduate Physical Activity and Sports Science students. The different groups in this study were: a group of water-polo players that performed the intervention plan (WI_{group}; n = 11), a group of water-polo players that did not perform the intervention (W_{group}; n = 10) and a control group (C_{group}; n = 10). The water-polo players (n = 22) were randomly distributed into two different groups, WI_{group} and W_{group}. Three subjects belonging to the group of water-polo players did not complete the whole study (n = 2 in WI_{group} and n = 1 in W_{group}. Dropout rate = 9.6%). The main characteristics of the participants are reported in Table 2. During the intervention, the experimental group of water-polo players (WI_{group} and W_{group}) followed the regular training with the team together and only the WI_{group} carried out the training plan before the regular practice. For C_{group}, it was established that during the intervention period they could only perform the physical and practical activities that were part of their study plan. The water-polo players (WI_{group} and W_{group}) were only allowed to perform their regular training sessions with their teams, except for the intervention program for the WI_{group}. As inclusion criteria for the group of water-polo players, it was established that they should complete 4 training sessions per week plus competition matches and a minimum training volume of 9 h per week. Exclusion criteria were (i) did not have previous ailments or pathologies in the shoulder joint; (ii) did not have discomfort or pain in the shoulder that would result in the exclusion from the study; and finally, (iii) they were required not to have either used medications or drugs in a previous period of 6 months before the start of the study. After

being informed of the benefits and potential risks of the investigation, all participants signed an informed consent.

Table 2. Summary of the participant characteristics.

	C_{group} (n = 10)	W_{group} (n = 9)	WI_{group} (n = 9)	Overall (n = 28)
Age (y)	22.2 ± 1.2	18.6 ± 2.4	19.8 ± 2.5	20.1 ± 2.5
Height (cm)	176.7 ± 5.3	177.2 ± 3.7	178. 7 ± 6.8	176.9 ± 6.2
Body mass (kg)	72.2 ± 5.1	75.1 ± 7.7	74.4 ± 7.8	74.6 ± 8.1

2.3. Data Collection

All participants were weighed and measured during the T_{pre}. Height (cm) was measured using the SECA-360 measuring rod (SECA©, Hamburgo, Germany) with a precision of 1 mm, and bodyweight (kg) was measured using scales of the same brand with a precision of 0.1 kg. Both tests, T_{pre} and T_{post}, were carried out between 5 and 8 pm. Assessments were supervised by two liscensed physical activity specialists.

The protocol proposed by Hams et al. (2019) was used for the evaluation of shoulder ROM [14]. For this, the subject was placed on a stretcher in supine position, with the body completely supported on the stretcher and the shoulder placed at 90° abduction, elbow at 90° flexion, and forearm in a neutral position. Passive measurement of ROM in both ER and IR was performed with the TruMedical Baseline® bubble 360° inclinometer. For the measurement of ER, the device was placed centered in the ventral side of the forearm, (2 cm from the proximal to the styloid process of the ulna). For IR, the device was placed on the dorsal surface of the forearm in the same arrangement as for ER. Scapular movements were not allowed. The dominant arm was assessed first, followed by the non-dominant arm for both ER and IR. Rotation was performed to the maximum limit of passive ROM. Shoulder elevation in regard to the position of contact with the stretcher or the subject's perception of pain was used as the criteria to determine the maximum passive ROM value. Measurements were made in degrees of ROM. Three attempts were made per measurement and the mean value of the repetitions was determined as reference data.

For the measurement of isometric strength, the protocol used by Terol-Sanchis et al. (2021) was performed. The measurements were made with the participant seated on a chair, in a position that allowed him to stand with a 90° hip flexion, thighs resting on the seat and knees at 90°. The arm that was not measured was placed resting on the thigh of that same side. The arm under evaluation was placed in a position of 90° elbow flexion [20]. Measurements were made with a strain gauge (Chronojump Bosco System®, Barcelona, Spain), which has proven to be a reliable and valid measure to assess strength [21]. Before carrying out the measurements, the gauge was calibrated with the standardized weight recommended by the manufacturer. Three maximum voluntary contractions were performed for each arm both in ER and IR, and the maximum peak force obtained in N was noted. Each contraction was performed in such a way that no strange movements were produced with the body to avoid compensations that could increase the generated force value. Recovery between repetitions was 1 min.

2.4. Statistical Analysis

Data cleaning, manipulation, and analyses were performed in R (R Core Team 2021), and model parameters were described and reported according to bayestestR Reporting Guidelines. Descriptive data of participants were reported with mean (SD). Bayesian linear mixed-effects models were fitted to each variable as a function of dummy-coded factors time (reference level "T_{pre}"), group (reference level "C_{group}"), and their interaction, using the Stan modeling language (Stan Development Team 2021) and the package brms. The models included maximal random-effect structures justified by the non-randomized group allocation, allowing the predictors of interest and their interactions to vary by participants. Default priors of the brms package were used. Four sampling chains were run

for 2000 iterations with a warm-up period of 500 iterations for each model, thereby yielding a total of 6000 post-warmup draws. For all relevant cell means and differences between them, the expected median values under the posterior distribution and their 95% credible intervals (CIs) were reported. To describe the existence of each effect, the probability of direction (pd), which represents the certainty associated with the most probable direction (positive or negative) of an effect, was reported. According to Makowski et al. (2019), pd $\leq$ 95%, pd > 95%, pd > 97%, pd > 99%, and pd > 99.9% were reported as uncertain, possibly existing, likely existing, probably existing, and certainly existing, respectively [22].

3. Results

A summary of model posterior distributions can be found in Table 3. Adding a training program to regular water-polo sessions resulted in a significant improvement in the ROM of both shoulders (dominant, median increase = 16.73°, 95% CI from 11.56° to 22.07°, pd = 100%; non-dominant, median increase = 15.29°, 95% CI from 8.15° to 22.56°, pd = 99.97%). Meanwhile, changes in ROM were negligible in the W_{group} (dominant, pd = 79.52%; non-dominant, pd = 87.52%) and C_{group} (dominant, pd = 67.78%; non-dominant, pd = 51.45%). Despite its effect on total ROM, the training program did not influence $_{total}$ROM (median change = 3.08°, 95% CI from −5.92° to 12.08°, pd = 75.03%), GIRD (median change 2.08°, 95% CI from −5.28° to 9.43°, pd = 71.38%), or GERD (median change = −0.93°, 95% CI from −4.98° to 3.29°, pd = 66.83%). The same findings apply also to the W_{group} and C_{group} (Figure 1).

Table 3. Summary of results.

		C_{group} (n = 10)	W_{group} (n = 9)	WI_{group} (n = 9)
Shoulder Range of Motion (°).				
Throwing shoulder Total ROM	T_{Pre}	160 (150–169)	172 (163–181)	163 (154–173)
	T_{Post}	161 (152–171)	170 (161–179)	180 (170–189)
Non-throwing shoulder Total ROM	T_{Pre}	158 (149–168)	172 (163–181)	163 (152–173)
	T_{Post}	157 (149–169)	167 (159–178)	178 (167–188)
Total ROM asymmetry	T_{Pre}	3 (−5–11)	−1 (−9–6)	0 (−7–9)
	T_{Post}	5 (−3–13)	3 (−5–10)	4 (−4–11)
GIRD	T_{Pre}	−5 (−12–1)	−7 (−14–−1)	−6 (−12–1)
	T_{Post}	−3 (−10–4)	−4 (−10–3)	−2 (−8–5)
ERG	T_{Pre}	9 (3–14)	6 (0–11)	6 (1–12)
	T_{Post}	8 (2–13)	6 (1–12)	5 (0–11)
Shoulder Strength (kg)				
Throwing shoulder IR strength	T_{Pre}	181 (156–204)	218 (193–243)	241 (212–265)
	T_{Post}	180 (153–202)	212 (187–237)	239 (212–266)
Non-throwing shoulder IR strength	T_{Pre}	64 (57–72)	73 (66–80)	66 (58–74)
	T_{Post}	63 (56–71)	66 (59–73)	71 (63–79)
Throwing shoulder ER strength	T_{Pre}	102 (94–109)	105 (98–112)	103 (95–110)
	T_{Post}	102 (95–110)	108 (101–115)	113 (105–120)
Non-throwing shoulder ER strength	T_{Pre}	93 (87–100)	99 (92–105)	96 (90–104)
	T_{Post}	95 (88–101)	102 (95–108)	107 (100–114)
Throwing shoulder Rotators Ratio	T_{Pre}	0.86 (0.78–0.94)	0.81 (0.74–0.88)	0.78 (0.70–0.85)
	T_{Post}	0.88 (0.80–0.95)	0.83 (0.76–0.91)	0.79 (0.70–0.86)
Non-throwing shoulder Rotators Ratio	T_{Pre}	0.87 (0.80–0.96)	0.82 (0.75–0.89)	0.86 (0.78–0.94)
	T_{Post}	0.90 (0.82–0.98)	0.80 (0.73–0.88)	0.81 (0.73–0.89)

Abbreviations: ROM, range of motion; GIRD, glenohumeral internal rotation deficit; ERG, external rotation gain; IR, internal rotation; ER, external rotation; C_{group}, control group; WI_{group}, group of water-polo players that carried out the intervention plan; W_{group}, group of water-polo players that did not carry it out. Note: Values are reported as the expected median (95% credibility interval) based on the model's posterior distribution.

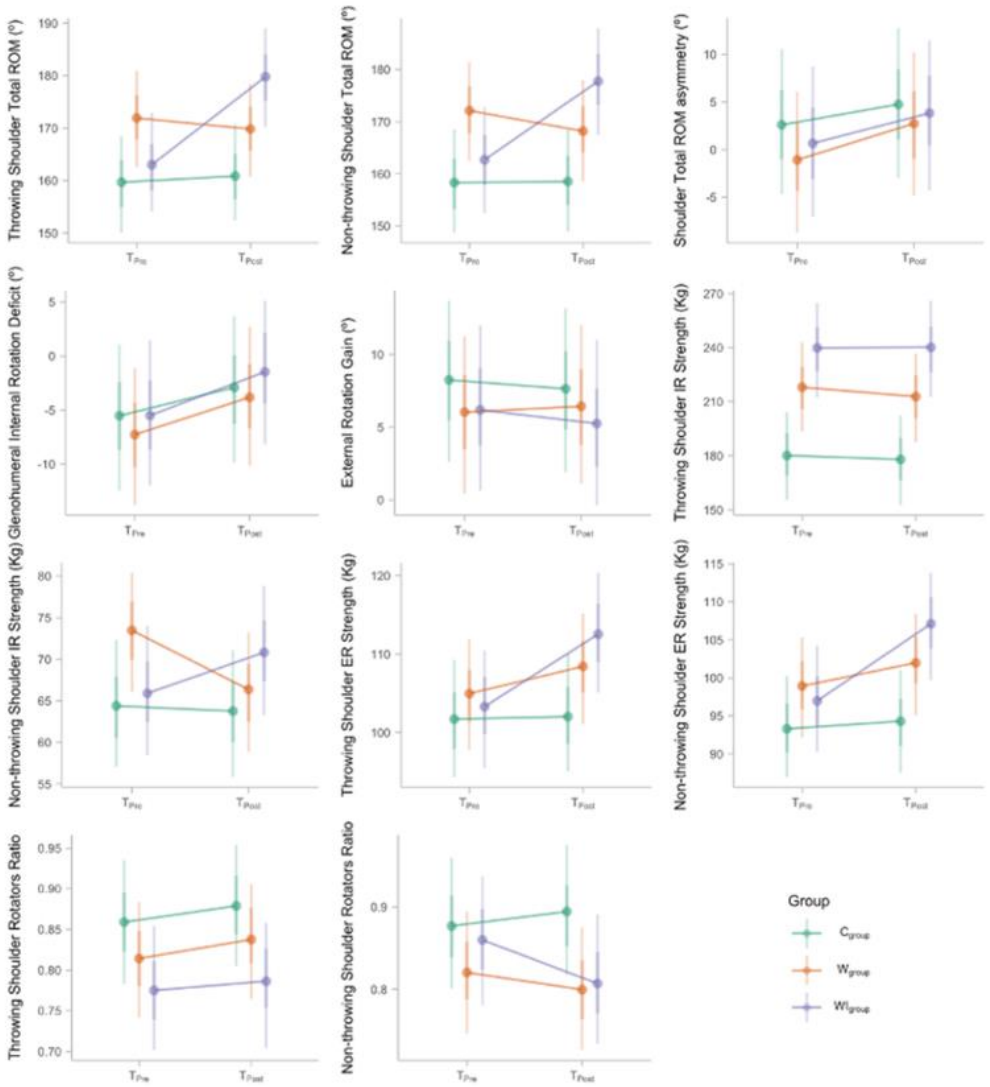

Figure 1. Time effects by group (color) and variable (subplot). Dotted, heavy, and light vertical lines indicate the median, 95% CI, and range of the model posterior distributions, respectively.

Rotation torque, on the other hand, evolved differently between shoulders. In the throwing shoulder, IR torque did not improve in any group (WI_{group} median change = 0.31°, 95% CI from −14.31°, pd = 51.87%; W_{group} median change = −5.12°, 95% CI from −19.03° to 7.75°, pd = 78.73%; C_{group} median change = −2.09°, 95% CI from −15.11° to 10.70°, pd = 62.07%). By contrast, ER torque improved in the players who performed the training program (WI_{group} median change = 9.30°, 95% CI from 4.60° to 14.01°, pd = 99.97%), but not much in the W_{group} (median change = 3.49°, 95% CI from −1.12° to 7.91°, pd = 93.37%) and not at all in the C_{group} (median change = 0.32°, 95% CI from −4.25° to 5.04°, pd = 55.52%). For the

non-throwing shoulder, IR torque improved for the WI_{group} (median change = 4.88°, 95% CI from −0.12° to 9.70°, pd = 97.27%) but decreased in the W_{group} one (median change = −7.08°, 95% CI from –12.03° to −2.49°, pd = 99.67%), without meaningful changes in the C_{group} (median change = −0.64°, 95% CI from −5.75° to 4.32°, pd = 60.22%). In addition, non-throwing shoulder ER torque improved only in the WI_{group} (median change = 10.21°, 95% CI from 5.60° to 14.57°, pd = 100%), but not clearly in the W_{group} (median change = 3.02°, 95% CI from −1.10° to 7.64°, pd = 91.33%) and not at all in the C_{group} (median change (0.95°, 95% CI from −3.55° to 5.52°, pd = 65.95%).

Rotation ratios of strength did not change over time in any group, neither for the throwing shoulder (WI_{group} median change = 0.01, 95% CI from −0.05 to 0.08, pd = 62.22%; W_{group} median change = 0.02, 95% CI from −0.04 to 0.08, pd = 78.65%; C_{group} median change = 0.02, 95% CI from −0.05 to 0.08, pd = 73.20%), nor for the non-throwing one (WI_{group} median change = −0.05, 95% CI from −0.13 to 0.01, pd = 93.88%; W_{group} median change = −0.02, 95% CI from −0.09 to 0.05, pd = 73.32%; C_{group} median change = 0.02, 95% CI from −0.05 to 0.09, pd = 69.52%).

4. Discussion

The results of this study suggest that a 6-week training program improves the ROM of the glenohumeral joint of the WI_{group} in relation to W_{group} and C_{group}, without modifications in the comparisons of contralateral asymmetry between shoulders. The relative values of ROM in ER and IR evolved differently. For the dominant side (throwing arm), ER improved only in the group of water-polo players following the intervention program (WI_{group}). However, this was not observed in any group for the IR assessment. Regarding the non-dominant side, improvements were observed in both ER and IR in WI_{group} and W_{group} but not for the C_{group}. Lastly, no improvements in strength were observed in any of the three groups.

From a global perspective, our results are comparable to previous studies that reported improvements in the ROM of the glenohumeral joint after the implementation of training plans [7,10,23]. These data support the idea of applying a program parallel to normalized training to improve tissue elasticity of the shoulder joint. According to Yanai et al. (2000), mobility and stretching exercise must be included in the training plan and are adequately completed to the regular training week [24]. The possible asymmetries between arms, on the other hand, were comparable between the groups for the GIRD, GERD, and $_{total}$ROM variables both in the T_{pre} and T_{post} situations. In addition, despite identifying an improvement in ROM in the WI_{group}, no changes in the asymmetry between the dominant and non-dominant arms were observed, and the values obtained were always within the expectable variations accepted as a possible risk of injury; less than 9.8° and 7.5° for the glenohumeral joint in rotation deficit and $_{total}$ROM, respectively [15]. We should also highlight that previous studies with other overhead sports (baseball) showed a statistical relationship between injury risk and asymmetries that is lower than those reported in our work (<5°) [25]. Despite this, our results align with those of Borsa et al. (2008), who stated that ROM should be the same in both shoulders in athletes who perform overhead sports [26].

Considering the movement peculiarities of this sport and the results obtained in this study, different biomechanical requirements are proposed for each side of the body. On the one hand, the throwing arm demands high mobility to guarantee muscle activation and relaxation in the dynamic explosive actions typical of the throwing action. On the other hand, the contralateral side is mainly subject to the swimming action and passing the ball. In terms of ER improvement of the throwing arm, the application of a specific work plan confirmed the descriptive values for water-polo players. The ER improvement in the throwing arm after the application of a specific work plan confirmed the descriptive values for water-polo players and other overhead sports such as swimming [27], handball [28], tennis, and baseball [29], which showed similar ER values in the dominant arm. The fact that ROM improvements are achieved in the ER is in line with the relationship between the lower incidence of injuries and a greater ROM in ER [10,14], but would also help to

improve performance in the throwing action. Despite performance indicators not being evaluated in this study, some studies have found improvements in ER with the increase in the range during the loading phase, which leads to better performance due to a larger ROM available. Though throwing speed was not evaluated in this study, this situation could translate into a greater distance in the acceleration phase and therefore an evident increase in the speed of the throwing action [10,16]. The lack of IR improvement in the intervention groups (both in WI_{group} and W_{group}) might be due to the fact that this mobility is associated with reactive scarring or chronic contracture of the periscapular soft tissues as a consequence of the continuous braking phases typical of the throws performed in this sport [26]. This theory could also explain why improvements in IR of the dominant arm were not obtained neither for the group of water-polo players submitted to the intervention plan (WI_{group}) nor for the group of water-polo players who followed standardized training (W_{group}).

The results obtained for the non-dominant arm coincide with the work by Hams et al. (2019), who stated that repetitive movements during normalized training in the non-dominant arm are sufficient stimulus to generate musculoskeletal adaptations [15]. This would explain why improvements have been obtained in both intervention groups. Therefore, and regarding these data, we question the need to apply specific training plans for the non-dominant side if the athlete has already acquired normal ROM values. It seems that water-polo standardized training is associated with gains in both ER and IR in this joint.

Regarding the strength variable, previous studies have shown a relationship between higher injury risk in the glenohumeral joint and ER weakness in overhead sports [30,31]. Therefore, it was assumed that carrying out an additional training program would significantly improve both ER and IR strength values in the WI_{group}, however, no differences were found between groups. This suggests that the prescribed intensity and exercise execution speed did not provide enough stimulus to achieve specific strength adaptations [32]. Although evidence of strength improvements from a performance perspective exists in semi-professional and professional water-polo players [33,34], the results of this study are similar to those obtained in other investigations that followed similar training plans and where no improvements in strength were found from a functional point of view [22,35]. Our results are comparable to Swanik et al. (2002), who reported no significant strength differences between study groups after a 6-week functional training program that included rubber-tubing, dumb-bell, and body-weight exercises [36]. When analyzing the scientific literature, contradictory and varying effects can be found. Some studies highlighted the efficiency of carrying out training programs parallel to normalized training, while others did not find improvements [37,38]. Therefore, it should be considered that the type of intervention designed by the coaches has a direct relationship with the training effect that is intended to be achieved and that applying specific training does not guarantee an injury risk reduction or a performance improvement. Despite this, the general recommendations regarding overhead sports determine the need to apply functional-type exercises that improve the levels of rotational strength of the shoulder, especially in the ER phase of the joint [39]. According to a recent review, the true efficiency of training protocols to limit shoulder injuries in overhead athletes must be further investigated [40].

There were several limitations in the current study. Previous research assessed short-term training adaptations after intervention programs. Given the context of this study and the sample that was recruited (professional water-polo players), it was impossible to propose a study of these characteristics. Further, future studies should consider specific performance factors related to this sport discipline such as throwing or swimming speed. Finally, statistical modeling in this study was performed from a Bayesian framework, which has some advantages over the null-hypothesis significance testing. This leads to the fact that our results have clear and valid interpretation, regardless of the number of observations provided [41]. Although this implies that a minimal sample size is not needed for a model to be valid, larger and randomized groups would have certainly improved the quality of our results.

5. Conclusions

A specific mobility and strength training program produced improvements in the ROM of the glenohumeral joint. ER and IR evolve differently in both shoulders, with ER improving in the throwing arm only in the group of water-polo players undergoing intervention, but not in any other group in the IR assessment. For the non-dominant side, improvements were observed in both ER and IR in all water-polo players, regardless of whether or not they had followed the intervention plan. No improvements were observed in either the strength variable or possible contralateral asymmetries. Future lines of research should analyze the designed training plan itself and be based exclusively on the most effective methods both for reducing the risk of injury and for improving performance.

Author Contributions: I.L.-L., S.S., J.C., F.C. and R.C.-S. were involved in conceptualizing and design of this study. I.L.-L. and J.C. were involved in the data collection. R.C.-S. and S.S. carried out the statistics. All authors were involved in manuscript writing (review and editing) and supervised this research study. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study followed the ethical guidelines of the 2013 Declaration of Helsinki and received approval from the Research Ethics Committee of the autonomous region of Aragon, Spain (The approval code is PI21/465, approved on 22 December 2021).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Acknowledgments: The authors thank the water-polo players and students of the Faculty of Health and Sport Sciences (Huesca; University of Zaragoza) for their participation in this research work.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Girdwood, M.; Webster, M. Quantifying the burden of shoulder and hip pain in water polo players across different playing levels. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2021**, *16*, 57–63. [CrossRef]
2. Croteau, F.; Brown, H.; Pearsall, D.; Robbins, S.M. Prevalence and mechanisms of injuries in water polo: A systematic review. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* **2021**, *7*, e001081. [CrossRef]
3. Stromberg, J.D. Care of water polo players. *Curr. Sports Med. Rep.* **2017**, *16*, 363–369. [CrossRef]
4. Mountjoy, M.; Miller, J.; Junge, A. Analysis of water polo injuries during 8904 player matches at FINA World Championships and Olympic games to make the sport safer. *Br. J. Sports Med.* **2019**, *53*, 25–31. [CrossRef]
5. Cools, A.M.; Johansson, F.R.; Borms, D.; Maenhout, A. Prevention of shoulder injuries in overhead athletes: A science-based approach. *Brazilian J. Phys. Ther.* **2015**, *19*, 331–339. [CrossRef]
6. Burn, M.; McCulloch, P.; Linter, D.; Liberman, S.; Harris, J. Prevalence of scapular dyskinesis in overhead and no overhead athletes: A systematic review. *Orthop. J. Sports Med.* **2016**, *4*, 2325967115627608. [CrossRef]
7. Webster, M.J.; Morris, M.E.; Galna, B. Shoulder pain in water polo: A systematic review of the literature. *J. Sci. Med. Sport* **2009**, *12*, 3–11. [CrossRef]
8. Cejudo, A.; Sánchez-Castillo, S.; Sainz de Baranda, P.; Gámez, J.C.; Santonja-Medina, F. Low range of shoulders horizontal abduction predisposes for shoulder pain in competitive young swimmers. *Front. Psychol.* **2019**, *6*, 478. [CrossRef]
9. Wilk, K.; Bagwell, M.; Davies, G.; Arrigo, C. Return to sport participation criteria following shoulder injury: A clinical commentary. *Int. Sports Phys. Ther.* **2020**, *15*, 624–642. [CrossRef]
10. Witner, A.; Sauers, E. Clinical measures of shoulder mobility in college water-polo players. *J. Sport Rehabil.* **2006**, *15*, 45–47.
11. McMaster, W.C.; Long, S.C.; Caiozzo, V.J. Isokinetic torque imbalances in the rotator cuff of the elite water polo player. *Am. J. Sports Med.* **1991**, *19*, 72–75. [CrossRef]
12. Segawa, E.; Komori, Y.; Hojo, T. The relationship between shoulder injuries and flexibility, shoulder rage of motion characteristics in elite male japanese water-polo players. *Jpn. J. Phys. Fit Sport Med.* **2017**, *66*, 263–269.
13. Witvrouw, E.; Danneels, L.; Asselman, P.; D'Have, T.; Cambier, D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am. J. Sports Med.* **2003**, *31*, 41–46. [CrossRef]
14. Eliot, J. Shoulder pain and flexibility in elite water-polo players. *Physiother. Theory Pract.* **1993**, *79*, 693–697. [CrossRef]
15. Hams, A.; Evans, K.; Adams, R.; Waddington, G.; Witchalls, J. Reduced shoulder strength and change in range of motion are risk factors for shoulder injury in water polo players. *Phys. Ther. Sport* **2019**, *40*, 231–237. [CrossRef]
16. Hams, A.H.; Evans, K.; Adams, R.; Waddington, G.; Witchalls, J. Throwing performance in water polo is related to in-water shoulder proprioception. *J. Sports Sci.* **2019**, *37*, 2588–2595. [CrossRef]

17. Hams, A.H.; Evans, K.; Adams, R.; Waddington, G.; Witchalls, J. Shoulder internal and external rotation strength and prediction of subsequent injury in water-polo players. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2019**, *29*, 1414–1420. [CrossRef]
18. Maestroni, L.; Read, P.; Bishop, C.; Turner, A. Strength and power training in rehabilitation: Underpinning principles and practical strategies to return athletes to high performance. *Sports Med.* **2020**, *50*, 239–252. [CrossRef]
19. Croteau, F.; Paradelo, D.; Pearsall, D.; Robbins, S. Risk factors for shoulder injuries in water polo: A cohort study. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2021**, *16*, 135–144. [CrossRef]
20. Terol-Sanchis, M.; Elvira-Aranda, C.; Gomis-Gomis, M.J.; Pérez-Turpin, J.A. The relationship between speed and strength in the beach volleyball serve. *J. Hum. Kinet.* **2021**, *80*, 39–47. [CrossRef]
21. Iacono, A.; Dello, V.S.; Sanderson, M.; Halperin, I. The isometric horizontal push test: Test-retest reliability and validation study. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2020**, *15*, 581–584. [CrossRef]
22. Makowski, D.; Mattan, B.; Lüdecke, D. BayestestR: Describing effects and their uncertainty, existence and significance within the bayesian framework. *J. Open Source Softw.* **2019**, *4*, 1541. [CrossRef]
23. Kaćanski, I.; Gava, B.P.; Soldatović, S. Analysis of the shoulder joint mobility in overhead sports before and after experimental treatment. *Med. Pregl.* **2011**, *64*, 539–544. [CrossRef]
24. Yanai, T.; Hay, J.G.; Miller, G.F. Shoulder impingement in front-crawl swimming: I. A method to identify impingement. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 21–29. [CrossRef]
25. Wilk, K.E.; Macrina, L.C.; Fleisig, G.S.; Porterfield, R. Simpson. C.D.; Harker, P.; Paparesta, N.; Andrews, J.R. Correlation of glenohumeral internal rotation deficit and total rotational motion to shoulder injuries in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39*, 329–335. [CrossRef]
26. Borsa, P.A.; Laudner, K.G.; Sauers, E.L. Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: A theoretical and evidence-based perspective. *Sports Med.* **2008**, *38*, 17–36. [CrossRef]
27. Holt, K.; Boettcher, C.; Halaki, M.; Ginn, K.A. Humeral torsion and shoulder rotation range of motion parameters in elite swimmers. *J. Sci. Med. Sport* **2017**, *20*, 469–474. [CrossRef]
28. Myklebust, G.; Hasslan, L.; Bahr, R.; Steffen, K. High prevalence of shoulder pain among elite Norwegian female handball players. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2013**, *23*, 288–294. [CrossRef]
29. Ellenbecker, T.S.; Roetert, E.P.; Bailie, D.S.; Davies, G.J.; Brown, S.W. Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 2052–2056. [CrossRef]
30. Byram, I.R.; Bushnell, B.D.; Dugger, K.; Charron, K.; Harrell, F.E.; Noonan, T.J. Preseason shoulder strength measurements in professional baseball pitchers: Identifying players at risk for injury. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38*, 1375–1382. [CrossRef]
31. Clarsen, B.; Bahr, R.; Andersson, S.H.; Munk, R.; Myklebust, G. Reduced glenohumeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesis are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: A prospective cohort study. *Br. J. Sports Med.* **2014**, *48*, 1327–1333. [CrossRef]
32. Alix-Fages, C.; Del Vecchio, A.; Baz-Valle, E.; Santos-Concejero, J.; Balsalobre-Fernández, C. The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2022**, *122*, 1111–1128. [CrossRef]
33. Keiner, M.; Rähse, H.; Wirth, K.; Hartmann, H.; Fries, K.; Haff, G.G. Influence of maximal strength on in-water and dry-land performance in young water polo players. *J. Strength Cond. Res.* **2020**, *34*, 1999–2005. [CrossRef]
34. Martin, M.S.; Pareja-Blanco, F.; De Villarreal, E.S. Effects of different in-season strength training methods on strength gains and water polo performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2021**, *16*, 591–600. [CrossRef]
35. Hibberd, E.E.; Oyama, S.; Spang, J.T.; Prentice, W.; Myers, J.B. Effect of a 6-week strengthening program on shoulder and scapular-stabilizer strength and scapular kinematics in division I collegiate swimmers. *J. Sport Rehabil.* **2012**, *21*, 253–265. [CrossRef]
36. Swanik, K.; Swanik, C.; Lephart, S.M.; Huxel, K. The effect of functional training on the incidence of shoulder pain and strength in intercollegiate swimmers. *J. Sport Rehabil.* **2002**, *11*, 142–154. [CrossRef]
37. Leppänen, M.; Aaltonen, S.; Parkkari, J.; Heinonen, A.; Kujala, U.M. Interventions to prevent sports related injuries: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Sports Med.* **2014**, *44*, 473–486. [CrossRef]
38. Batalha, N.; Marmeleira, J.; Garrido, N.; Silva, A.J. Does a water-training macrocycle really create imbalances in swimmers' shoulder rotator muscles? *Eur. J. Sport Sci.* **2015**, *15*, 167–172. [CrossRef]
39. Yildiz, Y.; Aydin, T.; Sekir, U.; Kiralp, M.Z.; Hazneci, B.; Kalyon, T.A. Shoulder terminal range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios in overhead athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2006**, *16*, 174–180. [CrossRef]
40. Tooth, C.; Gofflot, A.; Schwartz, C.; Croisier, J.L.; Beaudart, C.; Bruyère, O.; Forthomme, B. Risk factors of overuse shoulder injuries in overhead athletes: A sistematic review. *Sports Health* **2020**, *12*, 478–487. [CrossRef]
41. McElreath, R. *Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan*, 2nd ed.; CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2020.